

Karakteristik Kinerja Mesin Diesel Stasioner dengan Bahan Bakar Campuran Biodiesel dari Biji Kemiri Sunan

Farida Ariani¹, Elisabeth Ginting², Tulus Burhanuddin Sitorus³

^{1,3}Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik USU

²Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik USU

Jl. Almamater Kampus USU - Telp/Fax 061-8213250, Kode Pos 20155

email: tbsitorus@ymail.com

Abstract

This study aims to investigate the characteristics of stationary diesel engines which use a mixture of diesel fuel - biodiesel from sunan candlenut seed. Experiments were done with diesel fuel, B5, B10, B15, and B20 with a variety of engine rotation and load variations. The results showed that the values of torque, power and thermal efficiency when the engine uses B5, B10, B15, and B20 tends to decrease if compared when engine use diesel fuel. And the specific fuel consumption when use B5, B10, B15, and B20 increased. From the results of experiments and calculations, the maximum power of 3.01 kW, minimum specific fuel consumption of 228.58 g/kWh and maximum thermal efficiency of 37.61% when using diesel fuel. However, exhaust emissions were measured include opacity, carbon monoxide and hydrocarbons when the engine using biodiesel B5, B10, B15, and B20 decreased. By using statistical study also obtained correlation and regression equations involving engine performance parameters.

Keywords: sunan candlenut seed, engine performance

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi saat ini terutama sangat bergantung pada bahan bakar fosil. Hampir 26-27% konsumsi energi dipenuhi oleh bahan bakar fosil pada sektor transportasi dimana jenis bahan bakar ini seharusnya dapat digantikan pada tahun 2050 [1, 2]. Salah satu bahan bakar alternatif tersebut adalah biofuel yang dapat berupa alkohol dan biodiesel serta direkomendasikan sebagai bahan bakar alternatif untuk motor bakar [3,4,5]. Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang cukup menjanjikan karena bersifat terbarukan, *biodegradable*, tidak beracun dan ramah lingkungan [6, 7]. Biodiesel telah banyak digunakan pada mesin diesel terutama karena bahan bakunya dapat diperoleh dari berbagai macam seperti minyak tumbuh-tumbuhan, hewan, dan minyak bekas [8, 9, 10]. Jenis bahan bakar yang digunakan cukup mempengaruhi karakteristik dari suatu mesin. Karakteristik ini terkait erat dengan performansi yang dihasilkan oleh mesin tersebut dimana unjuk kerja mesin salah satunya dipengaruhi oleh jenis bahan bakar yang digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan kajian statistik kinerja mesin diesel stasioner satu silinder yang menggunakan bahan bakar campuran solar - biodiesel dari biji kemiri sunan. Saat ini biodiesel dari bahan baku biji kemiri sunan masih sangat jarang digunakan sebagai bahan bakar alternatif mesin diesel. Khusus untuk biodiesel dari biji kemiri sunan sangat potensial dimanfaatkan karena biji kemiri sunan tidak dikonsumsi oleh manusia sehingga tidak mengganggu kebutuhan pangan. Parameter kinerja mesin yang dikaji adalah daya, konsumsi bahan bakar spesifik, efisiensi termal, dan emisi gas buang yang dihasilkan. Disamping itu dikaji

juga korelasi yang terjadi diantara parameter-parameter tersebut sehingga menghasilkan suatu persamaan regresi yang dapat digunakan untuk memprediksi parameter tertentu.

1.1. Studi Literatur

1.1.1. Parameter Motor Bakar

Kinerja dari motor diesel secara khusus ditunjukkan oleh nilai dari parameter-parameter mesin tersebut. Beberapa dari parameter tersebut dapat diuraikan seperti berikut [11, 12].

1.1.1.1. Torsi

Torsi merupakan parameter indikator yang cukup baik untuk mengetahui kemampuan mesin dalam melakukan suatu usaha. Torsi didefinisikan sebagai gaya yang bekerja pada jarak tertentu dan memiliki satuan Nm atau lbf-ft. Besarnya torsi suatu mesin dapat diperoleh dari hasil pengujian dengan menggunakan alat *dynamometer test*.

1.1.1.2. Daya Mesin

Pada motor bakar umumnya dikenal ada dua jenis yaitu daya poros dan daya indikator. Daya tersebut dipengaruhi oleh putaran mesin dan torsi yang dihasilkan mesin. Namun yang digunakan dalam praktek di lapangan adalah daya poros. Daya poros atau daya efektif merupakan daya yang dihasilkan suatu mesin pada poros keluarannya atau biasa dikenal dengan *brake horse power* yang dihitung dengan persamaan :

$$W = \frac{2\pi \cdot N \cdot \tau}{60000} \text{ (kW)} \quad (1)$$

dimana N adalah putaran mesin (rpm) dan τ adalah torsi mesin (Nm).

1.1.2. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Konsumsi bahan bakar merupakan jumlah bahan bakar yang dikonsumsi per satuan unit daya yang dihasilkan per jam operasi. Secara tidak langsung konsumsi bahan bakar spesifik merupakan indikasi efisiensi mesin dalam menghasilkan daya dari pembakaran bahan bakar. Besarnya konsumsi bahan bakar spesifik dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$sfc = \frac{m_f}{W} \cdot 3600000 \text{ (gr/kWh)} \quad (2)$$

dimana m_f adalah laju aliran massa bahan bakar (kg/s).

1.1.3. Efisiensi Termal

Efisiensi termal suatu mesin didefinisikan sebagai rasio antara energi keluaran dengan energi kimia yang masuk yang dikandung bahan bakar dalam bentuk bahan bakar yang dihisap ke dalam ruang bakar. Efisiensi termal didefinisikan sebagai:

$$\eta_t = \frac{W}{m_f \cdot Q_{HV} \cdot \eta_c} \quad (3)$$

dimana Q_{HV} = nilai kalor bahan bakar (kJ/kg) dan η_c adalah efisiensi pembakaran yang bernilai 0,97.

1.1.4. Kajian Statistik Korelasi dan Analisa Regresi

Analisis korelasi digunakan untuk mengetahui ada tidaknya hubungan diantara satu atau beberapa variabel. Bila analisis korelasi hanya mencakup dua variabel X dan Y maka disebut analisis korelasi linear sederhana (*simple linear correlation*), namun bila mencakup lebih dari dua variabel maka dinamakan analisis korelasi linear berganda (*multiple linear correlation*).

Persamaan statistika untuk koefisien korelasi menurut Karl Pearson [13] adalah sebagai berikut:

$$r = \frac{N \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2} \sqrt{N \sum Y^2 - (\sum Y)^2}} \quad (4)$$

dengan r adalah koefisien korelasi dan X, Y adalah variabel bebas. Koefisien korelasi akan bernilai satu bila terdapat hubungan linear yang positif dan bernilai -1 bila terdapat hubungan linear yang negatif. Dan bila nilai korelasi diantara -1 dan +1, hal ini menunjukkan tingkat dependensi linear antara dua variabel. Bila semakin dekat dengan nilai -1 atau +1, maka akan semakin kuat korelasi antara kedua variabel tersebut. Bila variabel-variabel tersebut saling bebas maka nilai korelasi sama dengan 0. Apabila ternyata analisa korelasi menunjukkan hubungan yang cukup kuat, maka analisis dapat dilanjutkan ke sistem analisis regresi. Secara umum regresi linear terdiri dari dua jenis yaitu regresi linear sederhana yaitu dengan satu buah variabel bebas dan satu buah variabel terikat dan regresi linear berganda dengan beberapa variabel bebas dan satu buah variabel terikat. Dalam analisa regresi akan dikembangkan sebuah persamaan regresi yaitu persamaan matematika untuk mendapat nilai variabel terikat dari nilai variabel bebas yang diketahui. Karena pada penelitian ini terdapat lebih dari satu variabel bebas maka yang digunakan adalah persamaan regresi berganda. Persamaan regresi berganda memiliki bentuk persamaan :

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 \quad (5)$$

Nilai koefisien regresi b_1 dan b_2 dapat diperoleh dengan memakai aturan-aturan dalam matriks dimana :

$$b_1 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n X_2^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n X_1 Y \right) - \left(\sum_{i=1}^n X_1 X_2 \right) \left(\sum_{i=1}^n X_2 Y \right)}{\left(\sum_{i=1}^n X_1^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n X_2^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n X_1 X_2 \right)^2} \quad (6)$$

$$b_2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n X_1^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n X_2 Y \right) - \left(\sum_{i=1}^n X_1 X_2 \right) \left(\sum_{i=1}^n X_1 Y \right)}{\left(\sum_{i=1}^n X_1^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n X_2^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n X_1 X_2 \right)^2} \quad (7)$$

Dengan mengetahui nilai b_1 dan b_2 maka nilai b_0 dapat ditentukan dengan persamaan

$$b_0 = \bar{Y} - b_1 \bar{X}_1 - b_2 \bar{X}_2 \quad (8)$$

dengan \bar{Y} adalah nilai rata-rata dari variabel Y dan \bar{X} adalah nilai rata-rata dari variabel X .

2. Metodologi Penelitian

2.1. Bahan

Pengujian dilakukan dengan menggunakan bahan bakar solar dan campuran solar - biodiesel biji kemiri sunan dengan komposisi sebagai berikut:

1. B5 yaitu 5 % biodiesel biji kemiri sunan dan 95 % solar
2. B10 yaitu 10 % biodiesel biji kemiri sunan dan 90 % solar

3. B15 yaitu 15 % biodiesel biji kemiri sunan dan 85 % solar
4. B20 yaitu 20 % biodiesel biji kemiri sunan dan 80 % solar



Gambar 1. Bahan bakar yang digunakan

2.2. Peralatan Utama

Alat utama yang dipakai dalam penelitian ini terdiri dari:

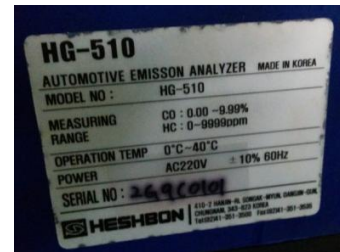
1. Mesin diesel stasioner satu silinder.
2. *Calorimeter bomb* untuk mengetahui nilai kalor bahan bakar.
3. *Automotive emission analyzer* untuk mengetahui komposisi emisi gas buang.



(a)



(b)



(c)

Gambar 2. a) *calorimeter bomb* b) mesin diesel uji c). *automotive emission analyzer*

Tabel 1. Data spesifikasi mesin [14]

Tipe	ROBIN - FUJI DY23D
Posisi katup	Overhead
<i>Valve rocker clearance</i>	0,10 mm (cold)
Kapasitas mesin	230 cm ³
Diameter silinder (<i>bore</i>)	70 mm
Panjang langkah (<i>stroke</i>)	60 mm
Rasio kompresi	21
Jumlah silinder	1
Daya maksimum	4.2 kW / 3750 rpm
Torsi maksimum	11.2 Nm / 3500 rpm
Waktu injeksi	23° BTDC

2.3. Skema Eksperimental

Mesin diesel stasioner satu silinder yang telah di *tune up* dipersiapkan dan dihubungkan dengan alat ukur serta alat pendukung. Alat ukur emisi gas buang ditempatkan pada bagian knalpot. Mesin dihidupkan dan dilakukan pemanasan sekitar 5-10 menit agar kondisi mesin mencapai stabil untuk pengujian.



Gambar 3. Skema eksperimental yang dilakukan

Proses pengujian dilakukan dengan melakukan variasi campuran bahan bakar sesuai perbandingan yang telah ditentukan (minyak solar, B5, B10, B15, dan B20). Jumlah bahan bakar yang diperlukan untuk setiap sampel pengujian sekitar 8 ml. Disamping itu juga dilakukan variasi putaran mesin 1000 rpm, 1400 rpm, 1800 rpm, 2200 rpm, 2600 rpm, dan 2800 rpm serta variasi beban statis sebesar 3 kg dan 4 kg.

3. Hasil dan Pembahasan

Pembahasan pada penelitian ini dikaji ke dalam beberapa bagian yaitu pengujian nilai kalor bahan bakar, pengujian kinerja mesin diesel, dan kajian statistik terhadap kinerja mesin diesel yang diuji.

3.1. Pengujian Nilai Kalor Bahan Bakar

Proses pengujian nilai kalor minyak solar, B5, B10, B15, dan B20 dilakukan dengan menguji masing-masing bahan bakar sebanyak lima sampel. Hasil uji kelima sampel kemudian dirata-ratakan untuk mendapatkan nilai kalor bahan. Dari hasil pengujian di laboratorium dengan menggunakan peralatan *calorimeter bomb* diperoleh bahwa nilai kalor paling tinggi terdapat pada minyak solar sebesar 43142,47 kJ/kg. Dan nilai kalor paling rendah terdapat pada bahan bakar B20 yaitu 36818,92 kJ/kg. Nilai kalor bahan bakar menunjukkan energi yang dihasilkan pada saat proses pembakaran bahan bakar per satuan massanya dimana nilai kalor dipengaruhi oleh komposisi penyusun bahan bakar tersebut. Semakin tinggi konsentrasi biodiesel di dalam campuran solar-biodiesel maka semakin rendah nilai kalor bahan bakar tersebut. Nilai kalor bahan bakar B20 paling rendah disebabkan karena meningkatnya kadar oksigen dalam struktur bahan bakar tersebut. Sehingga untuk mendapatkan jumlah energi yang sama maka jumlah B20 yang diperlukan menjadi lebih besar.

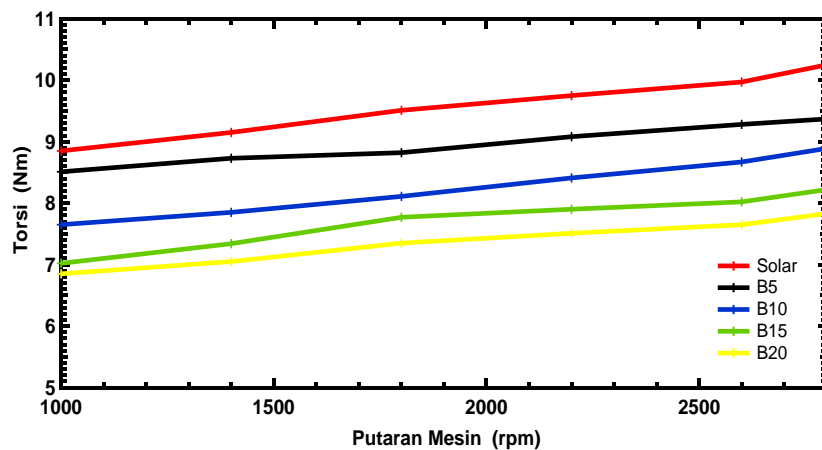
Tabel 2. Hasil pengujian nilai kalor bahan bakar

Bahan Bakar	Nilai Kalor (kJ/kg)
Minyak solar	43142,47
B5	41230,70
B10	40201,29
B15	39024,81
B20	36818,92

3.2. Pengujian Kinerja Mesin Diesel

3.2.1. Torsi

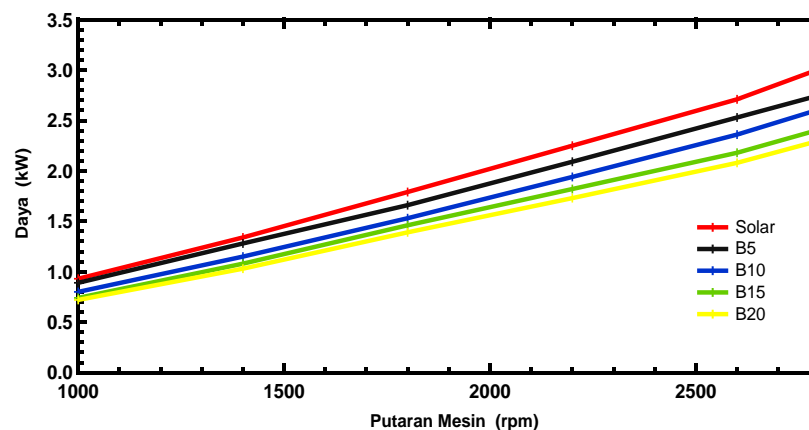
Dari data hasil pengujian diperoleh torsi maksimum sebesar 10,25 Nm yang terjadi pada saat mesin beroperasi pada putaran mesin 2800 rpm dan beban 4 kg dengan menggunakan bahan bakar solar seperti tampak pada Gambar 4. Sedangkan untuk torsi minimum diperoleh 3,35 Nm dengan bahan bakar B20 dan beban 3 kg dengan putaran mesin 1000 rpm. Torsi yang dihasilkan bila mesin menggunakan bahan bakar B20 merupakan yang paling rendah sebab besarnya torsi sangat dipengaruhi oleh energi hasil pembakaran bahan bakar. Dimana besarnya hasil energi hasil pembakaran bahan bakar dipengaruhi oleh nilai kalor bahan bakar. Nilai kalor bahan bakar B20 merupakan yang paling rendah jika dibandingkan dengan nilai kalor bahan bakar solar dan campuran biodiesel lainnya.



Gambar 4. Torsi mesin untuk beban 4 kilogram

3.2.2. Daya

Dari hasil pengujian yang tampak pada Gambar 5 didapatkan bahwa daya maksimum sebesar 3,01 kW terjadi pada saat mesin beroperasi pada putaran mesin 2800 rpm dan beban 4 kg dengan menggunakan bahan bakar solar. Sedangkan untuk daya minimum diperoleh 0,35 kW dengan bahan bakar B20 dan beban 3 kg dengan putaran mesin 1000 rpm.



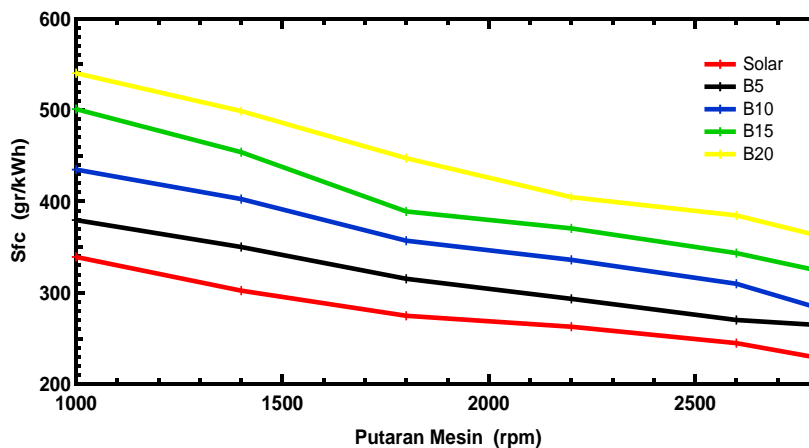
Gambar 5. Daya mesin untuk beban 4 kilogram

Hal yang paling berpengaruh terhadap daya poros yang dihasilkan oleh mesin adalah torsi. Bila torsi mesin semakin besar maka daya poros yang dihasilkan juga semakin besar dan begitu juga sebaliknya. Hal ini disebabkan perubahan daya berbanding linear dengan torsi mesin.

Faktor lain yang memungkinkan terjadinya penurunan daya poros pada B15, B10, B15, dan B20 adalah karena kurang tepatnya *setting timing injection*, hal ini disebabkan bilangan setana biodiesel lebih tinggi dari solar sehingga diperlukan *ignition delay* yang lebih pendek. Sehingga diperlukan upaya untuk memajukan *timing injection* untuk mendapatkan daya yang optimum. Dan perlu diketahui bahwa pada saat pengujian, tidak dilakukan modifikasi pada mesin diesel uji.

3.2.3. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (Sfc)

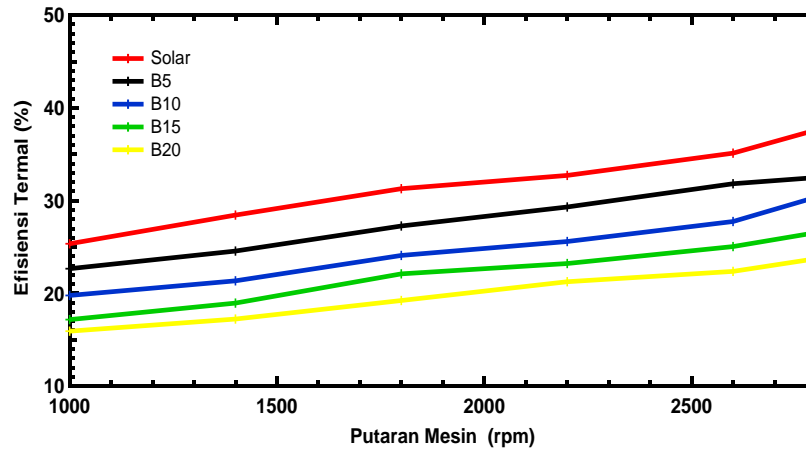
Dari hasil pengujian didapatkan bahwa nilai Sfc maksimum sebesar 888,76 gr/kWh dengan menggunakan B20 untuk putaran mesin 1000 rpm serta beban 3 kg. Tampak pada Gambar 6 bahwa nilai Sfc minimum diperoleh 228,58 gr/kWh dengan putaran mesin 2800 rpm serta bahan bakar yang digunakan solar untuk beban 4 kg. Konsumsi bahan bakar spesifik rata-rata yang dihasilkan dari pengujian yang dilakukan adalah 376,91 gr/kWh. Secara umum konsumsi bahan bakar spesifik untuk mesin yang menggunakan bahan bakar B5, B10, B15, dan B20 mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan dengan oleh nilai kalor B5, B10, B15, dan B20 yang lebih rendah dibandingkan dengan solar akibat adanya oksigen di dalam biodiesel yang mengakibatkan campuran udara-bahan bakar menjadi lebih miskin (*lean mixture*) sehingga untuk mendapatkan kinerja yang diinginkan maka campuran udara-bahan bakar harus dibuat lebih kaya (*rich mixture*). Kondisi ini membuat bahan bakar yang dibutuhkan menjadi lebih banyak dibandingkan bila menggunakan bahan bakar solar.



Gambar 6. Konsumsi bahan bakar spesifik untuk berbagai jenis bahan bakar

3.2.4. Efisiensi Termal

Hasil pengujian yang ditampilkan pada Gambar 7 menunjukkan bahwa harga efisiensi termal maksimum sebesar 37,61% dengan menggunakan solar untuk putaran mesin 2800 rpm serta beban 4 kg. Nilai efisiensi termal minimum diperoleh 9,67% dengan putaran mesin 1000 rpm serta bahan bakar yang digunakan B20 untuk beban 3 kg. Harga efisiensi termal rata-rata yang dihasilkan dari pengujian yang dilakukan adalah 24,48%. Besarnya penurunan efisiensi termal bila mesin diesel uji menggunakan bahan bakar campuran adalah berkisar 9,38%-39,39%. Rata-rata penurunan efisiensi termal yang terjadi saat mesin menggunakan bahan bakar campuran solar-biodiesel biji kemiri sunan adalah 25,34%. Seperti diketahui bahwa efisiensi termal dari motor bakar dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti daya poros mesin, laju aliran bahan bakar ke ruang bakar dan nilai kalor bahan bakar yang digunakan. Ketiga parameter tersebut secara simultan mempengaruhi pencapaian efisiensi termal suatu mesin.



Gambar 7. Efisiensi termal untuk berbagai jenis bahan bakar

3.2.5. Emisi Gas Buang

Pada penelitian ini, emisi gas buang yang diteliti adalah opasitas atau konsentrasi kekabutan, hidrokarbon (HC) dan karbonmonoksida (CO) dimana alat ukur yang digunakan adalah *smoke meter* dan *gas analyzer*. Data hasil pengukuran emisi gas buang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data hasil pengukuran emisi gas buang

Beban Statis (kg)	Bahan Bakar	Opasitas (%)	CO (%)	HC (ppm)
3	Minyak solar	28.64	0.07	40.21
	B5	26.51	0.07	31.21
	B10	23.74	0.06	29.21
	B15	21.51	0.06	25.54
	B20	20.11	0.05	22.87
4	Minyak solar	25.74	0.07	37.87
	B5	22.57	0.06	34.21
	B10	21.54	0.06	27.87
	B15	20.64	0.05	24.54
	B20	19.74	0.05	21.54

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh bahwa bila mesin menggunakan B5, B10, B15, dan B20 diperoleh penurunan emisi gas buang karbon monoksida (CO) berkisar 14%-28% untuk semua jenis variasi beban dan putaran mesin. Emisi gas buang CO terjadi akibat kekurangan oksigen sehingga proses pembakaran berlangsung secara tidak sempurna karena banyak atom C (karbon) yang tidak mendapatkan cukup oksigen sehingga terbentuk gas CO. Kondisi ini sebaliknya akan membuat emisi CO₂ mengalami peningkatan. Hal ini memiliki argumentasi bahwa biodiesel memiliki kelebihan atom oksigen sehingga biodiesel merupakan bahan bakar yang bersifat oksigenat yang memiliki kemampuan untuk mengikat molekul CO menjadi CO₂. Sedangkan penurunan emisi gas buang HC berkisar 9,66%-43,12% untuk semua jenis variasi beban dan putaran mesin. Adanya emisi HC disebabkan oleh proses pembakaran yang kurang sempurna. Biodiesel B5, B10, B15, dan B20 yang memiliki ikatan OH di dalam susunan

molekulnya membuat proses pembakaran bahan bakar di ruang bakar menjadi lebih baik sehingga emisi gas buang yang dihasilkan menjadi lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar solar.

3.3. Korelasi dan Analisa Regresi

Dengan menggunakan kajian statistik maka diperoleh korelasi antar parameter seperti tampak pada Tabel 4 dan koefisien determinasi. Besarnya nilai korelasi diantara parameter kinerja mesin diesel dapat dikatakan cukup signifikan.

Tabel 4. Korelasi parameter kinerja mesin diesel

Parameter	Torsi	AFR	Daya	Sfc	Efisiensi termal
Torsi	1				
AFR	-0.365	1			
Daya	0.719	0.090	1		
Sfc	-0.686	-0.357	-0.711	1	
Efisiensi termal	0.703	0.393	0.816	-0.921	1

Korelasi daya poros mesin dengan konsumsi bahan bakar spesifik yaitu -0,711 dimana hal ini mengindikasikan bahwa bila daya poros yang dihasilkan mesin meningkat maka konsumsi bahan bakar spesifik semakin turun dan begitu sebaliknya. Dan korelasi yang terjadi diantara daya poros dengan efisiensi termal berkisar 0,816 yang berarti bahwa bila daya poros meningkat maka efisiensi termal juga akan meningkat dan sebaliknya. Sedangkan nilai korelasi antara parameter konsumsi bahan bakar spesifik dengan efisiensi termal adalah -0,921 dimana hal ini berarti bahwa dengan meningkatnya konsumsi bahan bakar spesifik maka efisiensi termal akan menurun dan sebaliknya. Dengan adanya korelasi yang signifikan diantara ketiga parameter tersebut maka dapat dilanjutkan dengan proses analisis regresi. Dengan menggunakan analisa regresi berganda, maka diperoleh persamaan regresi yang melibatkan parameter efisiensi termal (Y), torsi mesin (X_1), perbandingan udara - bahan bakar atau AFR (X_2), daya poros mesin (X_3) dan konsumsi bahan bakar spesifik (X_4) yaitu :

$$Y = -26,785 + 3,458 X_1 + 0,892 X_2 + 1,091 X_3 + 0,006 X_4$$

Persamaan regresi yang diperoleh ini dapat digunakan untuk memprediksi besarnya efisiensi termal dengan mengetahui torsi mesin, AFR, daya poros dan konsumsi bahan bakar spesifik untuk mesin diesel yang diuji. Disamping itu diperoleh juga koefisien determinasi sebesar 98,9%, yang menyatakan bahwa pengaruh parameter torsi mesin, AFR, daya poros mesin dan konsumsi bahan bakar spesifik terhadap efisiensi termal untuk mesin diesel yang diuji sebesar 98,9%.

4. Kesimpulan

Besarnya nilai kalor suatu bahan bakar dipengaruhi oleh komposisi unsur penyusun bahan bakar tersebut. Semakin besar konsentrasi biodiesel di dalam bahan bakar campuran solar - biodiesel maka semakin kecil nilai kalor bahan bakar tersebut. Dari hasil pengujian, B20 memiliki nilai kalor yang paling kecil.

Berdasarkan data pengujian diperoleh bahwa penggunaan campuran bahan bakar biodiesel dari biji kemiri sunan - solar mengalami penurunan daya, kenaikan konsumsi bahan bakar spesifik dan penurunan efisiensi termal. Data pengujian menunjukkan besarnya daya maksimum 3.01 kW, konsumsi bahan bakar spesifik 228,58 gr/kWh dan efisiensi termal maksimum 37,61% saat mesin menggunakan bahan bakar solar. Dari data pengukuran saat pengujian diperoleh juga bahwa terjadi penurunan emisi gas buang berupa opasitas, CO dan

HC saat mesin menggunakan bahan bakar B5, B10, B5, dan B20 untuk semua variasi beban dan putaran mesin yang dilakukan.

Dari analisa kajian statistik untuk parameter kinerja mesin diesel yang diuji diperoleh hubungan yang cukup signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa persamaan baku untuk menentukan parameter motor bakar dengan data hasil pengujian memiliki korelasi yang cukup baik. Diperoleh juga nilai koefisien determinasi sebesar 98,9%, yang menyatakan bahwa pengaruh torsi mesin, AFR, daya poros mesin dan konsumsi bahan bakar spesifik terhadap efisiensi termal sebesar 98,9%.

Daftar Pustaka

- [1] H.K. Imdadul. Higher alcohol-biodiesel-diesel blends: *An approach for improving the performance, emission, and combustion of a light-duty diesel engine*. Energy Conversion and Management. 2016; 111; 174-185.
- [2] Imdadul H, Masjuki H, Kalam MA, Zulkifli N, Rashed M, Rashedul H. *A comprehensive review on the assessment of fuel additives effects on combustion behavior in CI engine fuelled with diesel biodiesel blends*. RSC Adv, 2015.
- [3] Murari Mohon Roy, Wilson Wang, Justin Bujold. *Biodiesel production and comparison of emissions of a DI diesel engine fueled by biodiesel-diesel and canola oil-diesel blends at high idling operations*. Applied Energy. 2013; 106; 198-208.
- [4] Agarwal AK. *Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines*. Prog Energy Combust Sci. 2007;33:233-71.
- [5] Demirbas A. *Progress and recent trends in biofuels*. Prog Energy Combust Sci. 2007; 33:1-18.
- [6] H.K. Rashedul, H.H. Masjuki, M.A. Kalam, Y.H. Teoh, H.G. How, I.M. Rizwanul Fattah. *Effect of antioxidant on the oxidation stability and combustion-performance-emission characteristics of a diesel engine fueled with diesel-biodiesel blend*. Energy Conversion and Management. 2015; 106; 849-858.
- [7] Sajjad H, Masjuki H, Varman M, Kalam M, Arbab M, Imtenan S, et al. *Comparative study of gas-to-liquid fuel, B5 diesel and their blends with respect to fuel properties, engine performance and exhaust emissions*. RSC Adv 2014;4:44529-36.
- [8] Chih-Cheng Chou, Ying-Wei Lin, Chia-Jui Chiang, Yong-Yuan Ku. *Experimental Analysis of a Turbo-Charged Common-Rail Diesel Engine Fueled with Biodiesel*. Energy Procedia. 2014; 61; 1167 - 1170.
- [9] United States Environmental Protection Agency, *A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions*, EPA420-P-02-001, 2002.
- [10] Mohd Hafizil Mat Yasina, Rizalman Mamata, Ahmad Fitri Yusop. *Comparative study on biodiesel-methanol-diesel low proportion blends operating with a diesel engine*. Energy Procedia. 2015; 75; 10 - 16.
- [11] Willard W. Pulkrabek. *Engineering Fundamentals of The Internal Combustion Engine*. University of Wisconsin, Prentice Hall New Jersey. 2004.
- [12] John B. Heywood. *Internal Combustion Engines Fundamentals*. Massachusetts Institute of Technology. 1988.
- [13] Sugiyono. *Statistika untuk Penelitian*. Alfabeta, Bandung, ISBN 978-979-84336-10-8, Cetakan ke-16. 2010.
- [14] Manual Book of TD 110-115 *Test Bed Instrumentation for Small Engines*, TQ Education and Training Ltd-Product Division. 2000.